

درایور موتورهای براشلس

موتورهای براشلس، موتورهای DC با قابلیت های توسعه یافته تری نسبت به موتورهای DC معمولی (براش دار) وارد عرصه شده اند. این موتورها عیوبی که براش (جاروبک) در موتور ایجاد می کرده را بر طرف ساخته و علاوه بر آن، از جمله گزینه های مناسب برای کاربردهای خاص به حساب می آید.

در واقع قدرت بالا، قابل اعتماد بودن، بازدهی زیاد، هزینه تعمیر و نگه داری کم، و راه اندازی کم صدا از عوامل مهمی است که استفاده از موتورهای با آهنربای دائمی (Permanent Magnet motor) مانند براشلس ها را در صنعت هایی مانند اتوماسیون های صنعتی، هوافضا، کامپیوتر، صنایع نظامی، خودروهای هیبریدی و حتی لوازم خانگی رواج داده است.

جهت آشنایی بیشتر با ساختار موتورهای براشلس به مطلب "[آشنایی با موتور براشلس](#)" مراجعه فرمایید.

در این قسمت تصمیم داریم به معرفی درایور و یا کنترل کننده سرعت (ESC) موتورهای براشلس اشاره کنیم و همچنین در حد توان، تئوری های بکار رفته در آن را به زبانی ساده بیان نماییم.

برای راه اندازی این موتورها دو روش عمده وجود دارد:

1- راه اندازی با سنسور

2- راه اندازی بدون سنسور (Sensor less)

در روش اول ([در مطالب قبل بیشتر به آن پرداخته شد](#))، که رایج ترین نوع راه اندازی را می توان به استفاده از سنسورهای هال و با استفاده از الکترومغناطیس قطب ها اشاره کرد که با این شیوه موقعیت روتور مشخص می شود.

از معایب روش راه اندازی با سنسور می توان به موارد زیر اشاره کرد:

1- هزینه ی بیشتر و ابعاد بزرگتر

2- محدودیت عملکرد در درجه حرارت (تقریباً 120 درجه سانتی گراد) که در دمای بالا عملکرد

درستی نشان نمی دهد.

این دو عامل به نحوی تأثیر گذار بوده است که برای حل مشکل آن روش بدون سنسور (sensor less) پیشنهاد شده است. در واقع ریسک قرار دادن سنسورها در موتورهای که با کاربرد خاص خود، موقعیت روتور همواره باید مشخص باشد، بسیار زیاد است و failed شدن (از مدار خارج شدن) این سنسورها سبب ایجاد ناپایداری در سیستم کنترلی شده و منجر به عدم عملکرد صحیح خواهد شد.

مزیت استفاده از راه اندازی بدون سنسور در آن است که هزینه به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته و همچنین وجود انواع سنسورها برای تعیین موقعیت، نادیده گرفته می شود و البته عیب بزرگ این روش، پیچیدگی کنترل آن با استفاده از الگوریتم های پیشرفته تری است.

در این قسمت سعی داریم روش راه اندازی بدون سنسور را بررسی کنیم؛

در این روش ما با استفاده از اندازه گیری نیروی محرکه الکترونیکی معکوس (Back EMF) که بر اساس قانون لنز ایجاد می شود، موقعیت روتور را بدست می آوریم.

در واقع، در هر بازه زمانی ما فقط دو فاز (از سه فاز) سیم پیچ داریم که در حال هدایت کردن می باشند و فاز دیگر حامل ولتاژ Back EMF است. ولتاژ EMF توسط قانون اهم و از طریق اندازه گیری جریان عبوری از مقاومت سری شده با تغذیه موتور بدست می آید.

با توجه به شکل زیر:

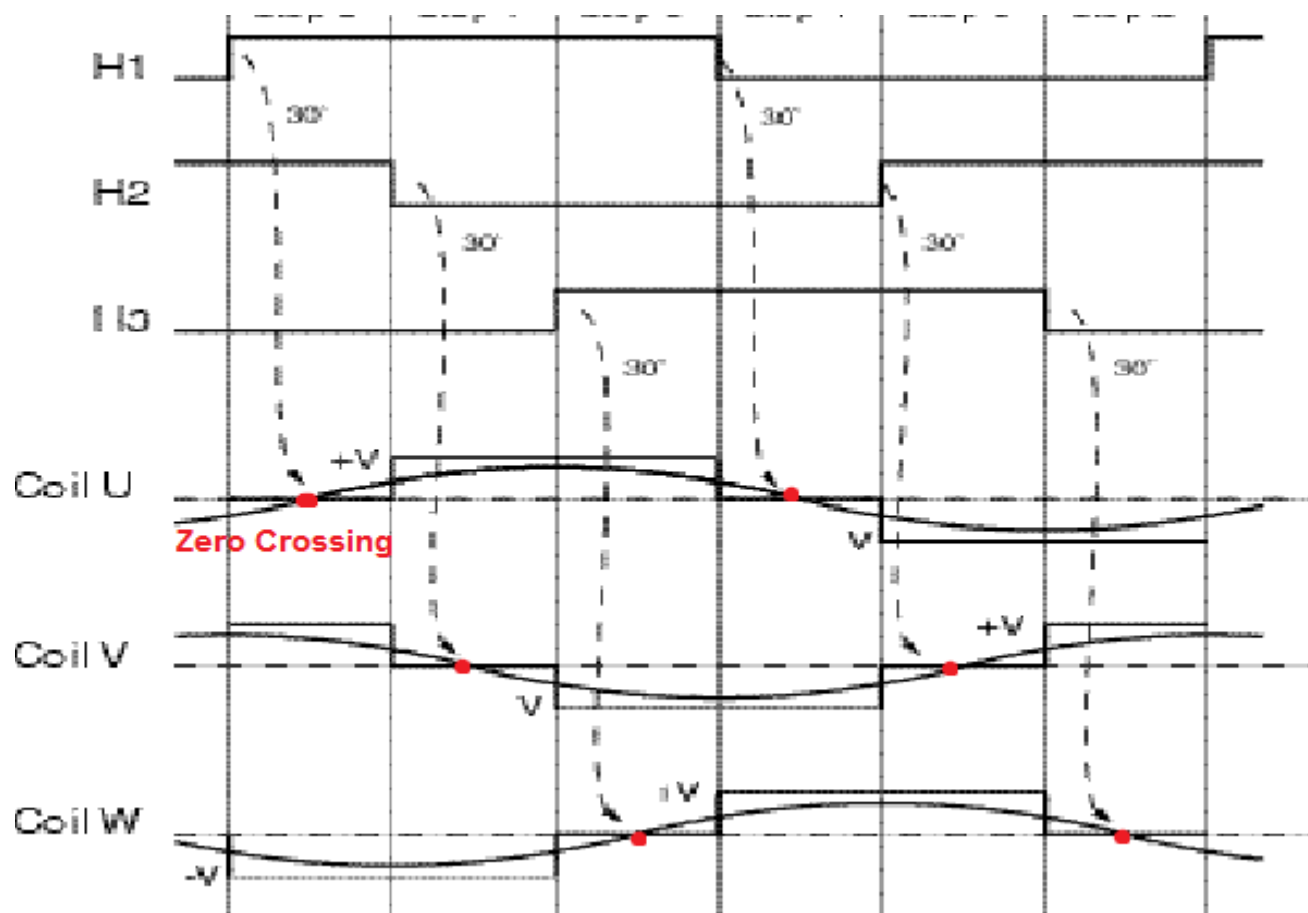
مشاهده می شود در هر بازه زمانی (که به 6 بازه زمانی و هر بازه 60 درجه تقسیم شده است) یک فاز به مثبت، یک فاز به منفی و دیگری به صورت Floating (نه صفر و نه در حد ولتاژ تغذیه) قرار دارد.

نقطه ای که برای ما اهمیت دارد و سبب تعیین معیار می شود، نقاط تلاقی بردارهای سینوسی BEMF با محور افقی است، که در واقع میانگین مقدار مثبت و منفی ولتاژ وارده بر سیم پیچ می باشد که به آن

ZC (Zero Crossing) گفته می شود. نقطه عطفی است که ولتاژ از سطح منفی به مثبت می رود (یا بالعکس).

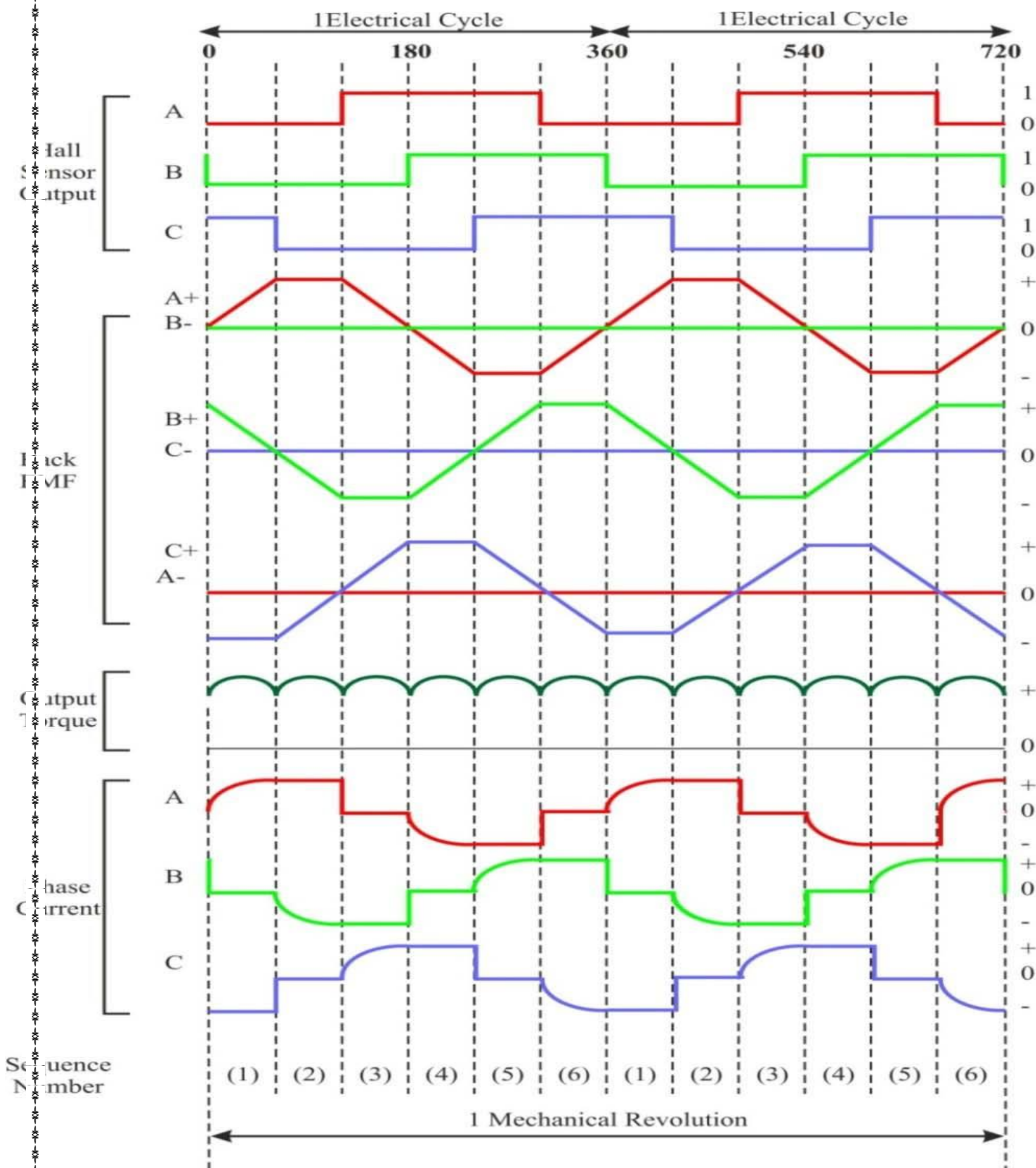
نقطه ZC همان نقطه ای است که ما از آن برای کنترل موتور و تعیین موقعیت آن استفاده می کنیم.

البته شکل زیر نشان دهنده تفاوت سیگنال های خروجی سنسورهای هال با حالت بدون سنسور (مقادیر اندازه گیری شده BEMF) نیز می باشد.



یکی از مشکلات سیستم بدون سنسور در آن است که در سرعت های پایین، سطح ولتاژ بقدری پایین است که نمی توانیم نقاط ZC را بدست آوریم و به نوعی سیگنال های راه انداز به طور مستقل و بدون وجود سیگنال تعیین مکان، تولید می شوند. البته تا به امروزه روش های زیادی برای غلبه بر این مشکل ایجاد شده که به طور کامل موفق به انجام آن نشده اند، و در هرصورت پرداختن به این موضوع بحث این مطلب نمی گنجد.

به شکل زیر توجه فرمایید:



پروژه کلید زنی (Switching) منبع جریان برای ایجاد فلوی مغناطیسی از طریق دو فاز (phase) برای ایجاد هر 60 درجه الکترونیکی چرخش روتور (قسمت دوار) انجام می پذیرد که به آن

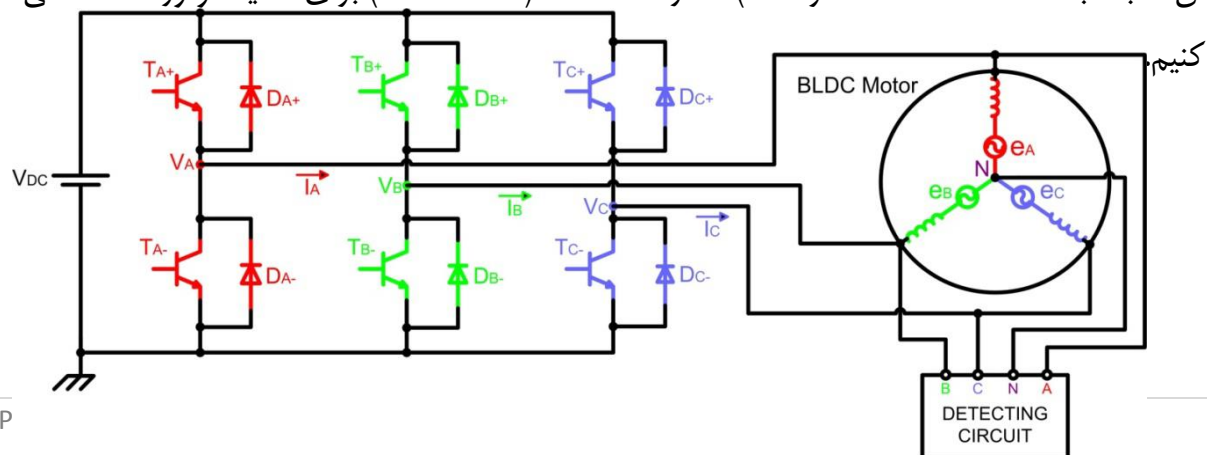
Electronic Commutation گفته می شود. این روش به آن معناست برای برقرار ساختن گشتاور، در زاویه درستی از موتور باید از فیدبک خروجی سنسورها و یا ولتاژ BEMF، موقعیت فعلی روتور را تشخیص داد و با استفاده از الگوریتم های Commutation جریان خروجی را به فاز درستی اعمال کرد.

به زبان ساده تر یعنی ما نمی توانیم بدون اطلاع دقیق از موقعیت روتور، موتور را راه اندازی کنیم زیرا ممکن است بر اثر عواملی (مثلاً موتور تحت بار بیشتری قرار بگیرد) موقعیت روتور طبق زمان بندی ثابت پیش نرود و اینگونه می شود که جریان به فاز صحیح اعمال نمی شود و موتور از کار می افتد. پس اطلاع از موقعیت روتور برای کنترل آن ضروری می باشد.

سرعت موتور با استفاده از تغییرات ولتاژ قابل کنترل است. (طبق قانون اهم $I = V/R$ می توانیم با تغییر ولتاژ، جریان وارد شده به استاتور را کم یا زیاد، و در نتیجه سرعت چرخش موتور را تغییر دهیم)

ما برای تغییر ولتاژ می توانیم از تغییر پهنای پالس PWM و یا تغییر فرکانس کلید زنی استفاده کنیم که البته تغییر فرکانس به علت آن که ما از میکروکنترلر برای این کار استفاده می کنیم، ایجاد و کنترل پالس در فرکانس های بالا سبب ناکارایی خواهد شد پس تنها راه تغییر پهنای پالس DC است که برای کنترل 6 کلید پل سه فاز بکار می رود. (3 phase Bridge)

ما برای کلید زنی می توانیم از ترانزیستورهای BJT و MOSFET استفاده کنیم که البته به علت آنکه راه اندازی BJT ها مقرون به صرفه نیست (به علت آنکه جریان I_B آن زیاد بوده و همچنین سرعت کلید زنی آن نسبت به MOSFET ها کمتر است) لذا از ماسفت ها (MOSFET) برای تغذیه موتور استفاده می



برای طرح ریزی الگوریتم کنترلی روش های مختلفی وجود دارد که هم شامل روش های اندازه گیری BEMF و هم روش های اعمال ولتاژ به فازها می شود.

برای مثال برای اندازه گیری ولتاژ BEMF دو روش رایج است:

1- روش شناسایی BEMF به صورت مستقیم

در این روش مقدار BEMF اندازه گیری شده و با نقطه صفر اتصال سه فاز ستاره (Neutral point)

مقایسه می شود و به این صورت نقاط Zero Crossing مشخص می شود.

این روش به شدت به نویز PWM حساس بوده و برای کاهش نویز از فیلتر پایین گذر LPFs استفاده می شود (که این خود باعث ایجاد محدودیت در کنترل سرعت های بالا موتور می شود)

2- روش شناسایی BEMF به صورت غیر مستقیم

چون روش مستقیم سبب محدودیت کنترل در سرعت های بالا می شود، لذا از روش غیر مستقیم برای کاهش نویز ناشی از کلید زنی به طریق زیر کار می رود.

- انتگرال گیری از مقادیر Back EMF

- انتگرال گیری از سومین هارمونیک ولتاژ

- استفاده از دیود هرز گرد

این موارد اشاره شده فقط برای قسمت فیدبک بوده و الگوریتم های کنترلی، که چگونه از مقادیر فیدبک برای کنترل سیستم استفاده شود خود روش های مختلف دیگری دارد که به علت پیچیدگی زیاد از پرداختن به آن صرف نظر می کنیم.

حال با مقدمات گفته شده به ادامه بحث کوادروتورها می پردازیم؛

در واقع هدف ما از این مقدمه که شاید کسل کننده به نظر بیاید این بوده است که ما باید نگاهمان را از ساخت کوادروتور کمی تغییر بدهیم. صرفاً ساخت یک وسیله که پرواز کند (مانند کوادروتور) به تنهایی کافی نبوده و شاید بیشتر به ابزاری برای سرگرمی تبدیل شود. اما نگاه علمی به این موضوع بیان گر آن است که ما باید این پلت فرم را به ربات پرنده تبدیل کنیم و در بهترین حالت یک ربات پرنده خودکار داشته باشیم که از ابزار و علوم مختلف در آن بهره برده شده است.

رسیدن به این هدف، مستلزم آن است که نسبت به جزء قطعات آگاهی داشته و از تئوری های به کار رفته در آن مطلع باشیم.

البته قطعه ای مانند کنترل کننده های سرعت (ESC) موتورهای براشلس، به علت آنکه ساخت آن پیچیده بوده و نیز انواع گوناگونی با ویژگی های مختلف در بازار موجود می باشد، ساخت آن برای مبتدیان ابداً توصیه نمی شود. زمانی نیاز است که ما برای پروژه خود اسپیدکنترلر بسازیم که اسپیدکنترلرهای موجود در بازار جواب گوی نیاز ما نباشد. در واقع نکته همین جاست که کاری که با اهداف علمی پیش برود، یک طرح خاص با ویژگی های خاص محسوب می شود که برای تأمین قطعات آن باید خودمان دست به کار شویم.

حال می خواهیم توضیح مختصری در ارتباط با انتخاب درایور موتور براشلس برای پروژه کوادروتور بدهیم:

انتخاب درایور (ESC) رابطه ی مستقیمی با نوع و توان موتور انتخابی ما دارد.

در حقیقت این موتور است که نوع اسپیدکنترلر ما را مشخص می کند. پس با این تفاسیر ما باید قبل از خرید اسپیدکنترلر مشخصات موتور خود را مشخص نماییم.

برای مثال؛ با توجه به مطالب ارائه شده در قسمت های قبل، خصوصاً قسمت انتخاب موتور و با توجه به ملخ انتخاب شده باید موارد زیر را مشخص نماییم:

- 1- توان و جریان حداکثر موتور. (مثلاً 10 آمپر)
 - 2- نوع موتور ما از لحاظ سنسور دار و یا بدون سنسور بودن. (البته اکثر موتورهای رایج در بازار ایران و در فروشگاه های Hobby بدون سنسور هستند.)
 - 3- نوع موتور از لحاظ DC و یا AC بودن خروجی سه فاز آنها (که بازهم اکثراً از نوع DC هستند.)
 - 4- جریان نامی و لحظه ای موتور (که از مشخصات کارخانه ای موتور باید استفاده کرد.)
- حال با فرض دانستن مطالب بالا، انتخاب اسپیدکنترلر مناسب شامل ویژگی های زیر است :

- 1- چون می دانیم موتور ما 10 آمپر جریان می کشد، پس حداقل اسپید کنترلر مورد نیاز، یک مدل 10A است. اما آیا ما مطمئن هستیم که هیچ وقت جریان موتور از 10A تجاوز نمی کند؟ مسلماً اینگونه نخواهد بود! پس ما باید اسپیدکنترلری بیشتر از 10 آمپر انتخاب کنیم تا ضریبی را به عنوان ضریب اطمینان برای خود در نظر گرفته باشیم. چون اگر به هر دلیلی موتور ما جریان بیشتری از حد مجاز خود بکشد، اسپیدکنترلر ما می سوزد. زیرا ما می دانیم Mosfet ها به شدت به حرارت حساس بوده و دمای زیاد اثر مخربی بر آنها می گذارد.
- به این نکته نیز توجه کنید که هزینه اسپیدکنترلر با آمپر بالاتر، بیشتر است اما ارزش خریدن دارد! زیرا مسلماً سوختن اسپیدکنترلر هزینه ی بیشتری را بر ما تحمیل می کند.
- 2- اگر موتور ما سنسور داشته باشد، درایور آن کاملاً متفاوت خواهد بود. پس توجه به این نکته نیز از عوامل مهمی است.
- 3- از نظر ظاهری شاید نتوان سه فاز AC و DC را از یکدیگر تشخیص داد. زیرا هر دو سه سیم خروجی دارند و در حقیقت نوع اینورتر (Inverter) استفاده شده در آن، مشخص کننده نوع خروجی آن است. گرچه همانطور که گفته شد تقریباً تمامی اسپیدکنترلرهایی که در فروشگاه های Hobby به فروش می رسد از نوع DC هستند و از این بابت جای نگرانی نیست.

4- جریان نامی، یعنی جریانی که موتور در حالت پایدار خود دارد. (یعنی زمانی که موتور مدتی است شروع به کار کرده) و جریان لحظه ای، جریانی است که موتور در شروع کار خود در لحظه اولیه و برای مدت کوتاهی دریافت می کند که معمولاً 5 تا 6 برابر جریان نامی آن است. حال اگر اسپیدکنترلر ما از کیفیت مطلوبی برخوردار نباشد، مسلماً قطعات آن می سوزد. پس کیفیت قطعات به کار رفته و جنس اسپیدکنترلر نیز خود پارامتر مهمی است که باید به آن توجه شود. البته یک مشخصه در اسپدکنترلر ها وجود دارد که به آن Burst Amp گفته می شود. و این یعنی جریانی حداکثری که برای مدت کوتاهی می تواند تحمل کند که این زمان وابستگی شدیدی به دمای قطعات آن دارد. یعنی اگر بتوانیم هرچه بیشتر قطعات را خنک نگه داریم، زمان Burst آن بیشتر خواهد شد.

مبحث مربوط به انتخاب اسپیدکنترلر پیچیدگی خاصی ندارد و همه چیز وابسته به موتور ماست. تنها پیچیدگی آن، ساخت آن است! بعضاً دیده شده در بعضی فروم ها دوستان به دیگران ساخت اسپیدکنترلر را توصیه می کنند! تقریباً می شود گفت که این کار توجیه علمی و منطقی ندارد. زیرا مدت زمانی که ساخت یک اسپیدکنترلر از ما می گیرد (که شاید عملکرد مطلوبی نیز نداشته باشد) زیاد بوده و شاید ما را از اصل موضوع که پیاده سازی الگوریتم های کنترل کوادروتور است، دور سازد. اما همانطور که گفته شد، دانستن و درک عملکرد آن پیشنهاد می شود.

امیدواریم که مطالب ارائه شده به گونه ای بیان شده باشد که مثمر ثمر واقع شود.

ضمن تشکر از دوستانی که با نظرات خود نقاط ضعف و قوت ما را متذکر می شوند، لذا از همه دوستان تقاضا داریم با ارائه نظرات خود ما را در هدفمند ساختن مطالب سایت یاری فرمایید.

انشاء.. در قسمت های بعدی مباحث دیگری پوشش داده خواهد شد.

WWW.ROBOTICAL.IR

for more info Contact Zahedi@robotical.ir



انتشار مطالب با ذکر منبع بلامانع می باشد

References:

- 1- Jose carlos gamazo; E Vazquez-Sanchez; j Gomez-Gill; . Position and speed control of brushless DC motor using sensorless technique and applications trends. Sensors **2010**
- 2- S W Colton . Design and prototyping methods for brushless motors and motor control. Mit master thesis june **2010**
- 3- Avr docs. AVR498 : Sensorless control of BLDC motors using Atiny261/461/86